

Performance Indicators für innovative Sicherheitsmaßnahmen am Bahnübergang

Performance indicator system for innovative safety measures at level crossings

Alexander Brandies | Florian Brinkmann | Jan Grippenkov

Todesfälle und Verletzungen durch Unfälle an Bahnübergängen (BÜ) motivieren die Entwicklung von innovativen Sicherheitsmaßnahmen für BÜ im Rahmen des Projektes SAFER-LC (Safer level crossing by integrating and optimizing road-rail infrastructure management and design). Zur Bewertung der Sicherheitsmaßnahmen wurde, basierend auf dem Konzept der *Key Performance Indicators* (KPI), das Performance Indicator System (PIS) entwickelt, das in fünf Kategorien eingeteilt und im vorliegenden Beitrag beschrieben wird.

1 Hintergrund, Motivation und Zielsetzung

Innerhalb der letzten Jahre gab es im Schnitt jeden Tag einen Todesfall und etwas weniger als einen Schwerverletzten durch Unfälle an Europäischen BÜ [1]. Aufgrund dessen zielt das EU-geförderte Projekt SAFER-LC darauf ab, durch die Entwicklung kostengünstiger Sicherheitsmaßnahmen für BÜ, die Sicherheit zu verbessern und Risiken zu minimieren. In dem Projekt haben sich 17 Partner aus zehn Ländern zusammengeschlossen (siehe unten „Anerkennung“), um realisierbare technische und nicht-technische Lösungen zu entwickeln. Innerhalb des Projektes werden Sicherheitsmaßnahmen für unterschiedliche Arten von BÜ und unterschiedliche Arten von Straßenverkehrsteilnehmenden entwickelt und in verschiedensten Pilotversuchsanlagen getestet. Beispiele für Pilotversuchsanlagen sind Simulatoren, Mock-Ups und reale Versuchsanlagen. Ziel des Testens der Sicherheitsmaßnahmen in den Pilotversuchsanlagen ist es, die Leistung der Maßnahmen zu messen.

Dies führt zu den Fragen, was eine zufriedenstellende oder unbefriedigende Leistung von Sicherheitsmaßnahmen ist und wie die Leistung gemessen werden kann. In der industriellen und wirtschaftlichen Forschung wird die Leistung von Dienstleistungen, Systemen oder Organisationen durch sogenannte KPI evaluiert [2]. KPI sind ein definierter Satz von Parametern, die zur Überwachung derjenigen Leistungsaspekte verwendet werden, die für den Erfolg entscheidend sind. Für SAFER-LC wurde das KPI-Konzept angepasst, um die Leistung von kostengünstigen Sicherheitsmaßnahmen für BÜ mit einem PIS zu evaluieren.

Das in SAFER-LC entwickelte PIS wird im folgenden Kapitel beschrieben. In ihm wird die Leistung von kostengünstigen Sicherheitsmaßnahmen für BÜ in relevante PI-Kategorien und PI aufgeschlüsselt. Das PIS dient als Leitfaden für den Aufbau von Tests an Pilotversuchsanlagen. Da eine endgültige Auswahl der zu testenden Sicherheitsmaßnahmen im aktuellen Projektstadium noch nicht identifiziert wurde, beinhaltet das PIS einen PI-Satz, der für verschiedenste Arten von Sicherheitsmaßnahmen, BÜ-Konfigurationen, Straßenverkehrsteilnehmenden und Pilotversuchsanlagen anwendbar ist.

Fatalities and injuries at level crossings (LC) motivate the development of innovative safety measures at LC within the European project SAFER-LC (Safer level crossing by integrating and optimizing road-rail infrastructure management and design). Based on the concept of *Key performance indicators* (KPI), a performance indicator system (PIS) for evaluating the safety measures has been developed and is described in this article. The PIS contains performance indicators (PI) within the five categories *Safety, Business, Traffic, Human behavior* and *Technical*.

1 Background, motivation and purpose

During the past few years, there has been one fatality and almost one seriously injured person at European LC every day [1]. Therefore, the EU-funded project SAFER-LC aims to improve safety and minimize risk by developing low-cost measures for increasing the safety at LC based on innovative technologies. In the project, 17 partners from ten countries (see acknowledgement below), together with external experts, combine expertise to identify feasible technical and non-technical solutions. Within the project, safety measures for different types of LC and different groups of road users are developed and tested in various pilot test sites such as simulators and mock-ups, as well as real world test sites and test vehicles in different European countries. The aim of piloting the safety measures in the pilot test sites is to evaluate their performance under five categories: *Safety, Business, Traffic, Human behavior* and *Technical*. This leads to questions of what a satisfying or dissatisfying performance of a safety measure is and how the performance can be measured. In industrial and economic research, the performance of services, systems or organisations is evaluated by so called KPI [2]. KPI are a defined set of parameters used to monitor those aspects of performance that are critical for success. For SAFER-LC, the concept of KPI has been adapted to evaluate the performance of low-cost safety measures for LC with a PIS. The PIS developed in SAFER-LC is described in the following chapter. It contains a breakdown of the performance of low-cost safety measures at LC into the relevant PI categories and PI. The PIS serves as a guideline for setting up tests at pilot test sites. Since a finalized selection of safety measures to be tested is not decided on at the current stage of the project, the PIS contains a set of generic PI that is applicable for various kinds of safety measures, LC configurations, road users and pilot test sites.

2 Das Performance Indicator System

Das PIS wurde auf Grundlage der Zielsetzung von SAFER-LC, die Leistung kostengünstiger Sicherheitsmaßnahmen für BÜ zu evaluieren, entwickelt. Um das PIS zu entwickeln, wurden Perspektiven von Experten aus an SAFER-LC teilnehmenden Organisationen erfasst und ergänzt um theoretische Modelle und Konzepte zu unterschiedlichen Arten von PI aus der Literatur [3–17]. Das resultierende PIS ist in den nächsten Absätzen zusammengefasst. Die Inhalte des PIS, die nicht um Literaturhinweise ergänzt sind, basieren auf Expertenmeinungen. Innerhalb des PIS sind die PI in fünf generische Kategorien unterteilt.

Da der Fokus des Projektes SAFER-LC auf der Entwicklung von Sicherheitsmaßnahmen liegt, ist die erste PI-Kategorie *Sicherheit*. Darüber hinaus ist ein Ziel von SAFER-LC, kostengünstige Maßnahmen zu entwickeln. Das bedeutet, dass identifizierte Sicherheitsmaßnahmen für Infrastrukturbereitsteller aus dem Straßen- und Schienensektor bezahlbar sein müssen. Daher ist *Wirtschaftlichkeit*, inkl. verschiedener Kostenarten, eine weitere zu bewertende Kategorie. Zudem sind BÜ Teil von Transportsystemen. Die Aufgabe von Transportsystemen ist Mobilität durch Verkehr bereitzustellen. Deshalb ist *Verkehr*, mit Bezug auf Verkehrskapazität, eine weitere zu bewertende Kategorie. Die erwähnten Kategorien werden durch menschliches Verhalten und technische Rahmenbedingungen beeinflusst. Das führt zu den letzten beiden Kategorien *Menschliches Verhalten* und *Technik*. Für jede der fünf Kategorien werden die zugehörigen Unterkategorien und PI in den nächsten Absätzen zusammengefasst.

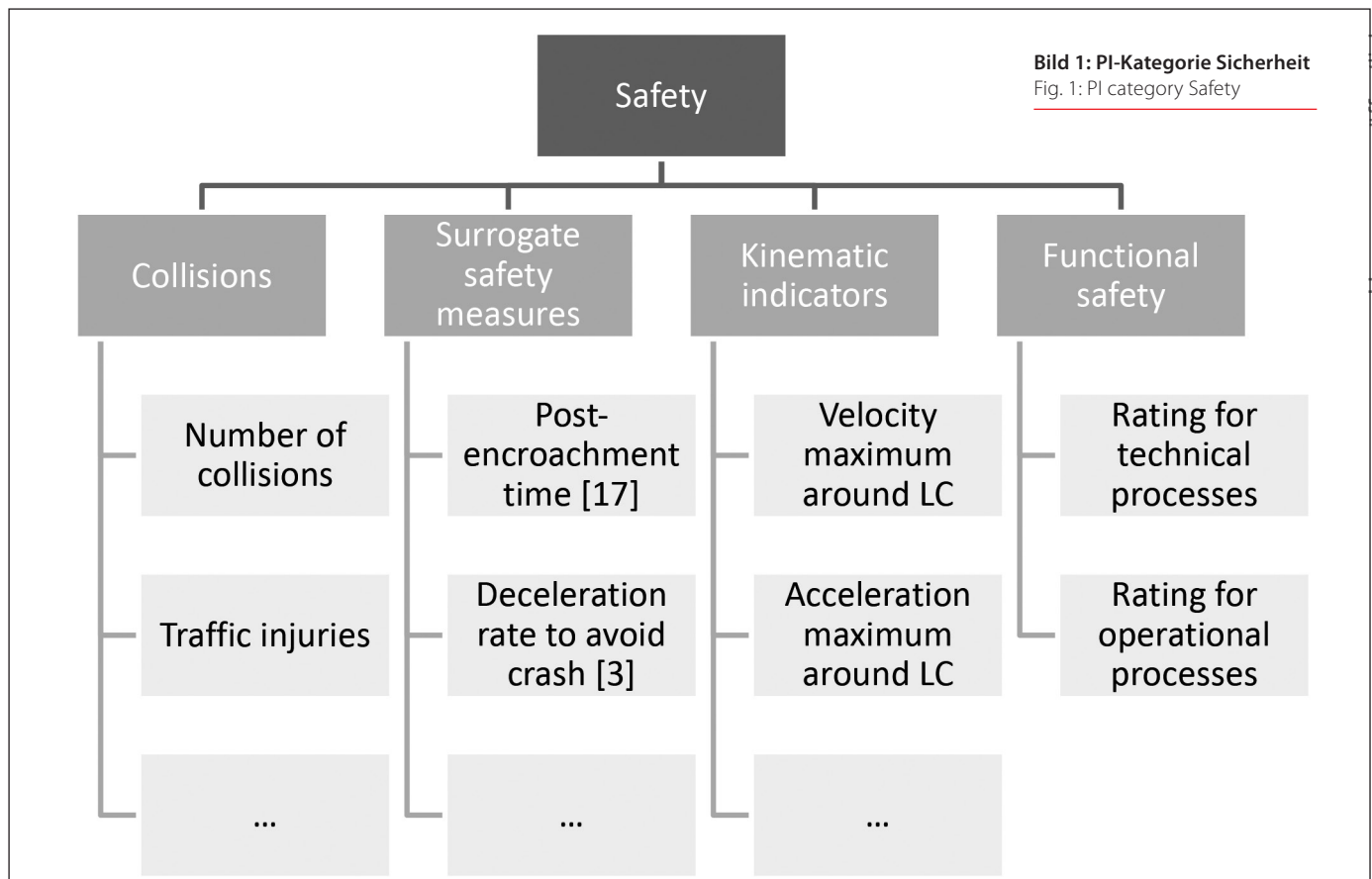
Die erste Kategorie *Sicherheit* (Bild 1) fokussiert PI, die die Anzahl der tatsächlichen Unfälle (d.h. Kollisionen) an einem BÜ beschreiben (Unterkategorien *Kollisionen*) sowie PI, die das Unfallrisiko an einem BÜ widerspiegeln. Letztere werden in PI bzgl. Bewegungen von Verkehrsteilnehmern (Unterkategorie *Surrogate safety measures* [3, 16, 17] und Kine-

2 Performance indicator system

The PIS has been developed based on the objective of SAFER-LC to evaluate the performance of low-cost safety measures at LC. To develop the PIS, perspectives of experts from organizations participating in SAFER-LC have been collected and complemented by theoretical models and concepts from literature for different kinds of PI [3–17]. The resulting PIS is summarised within the next paragraphs. The content of the PIS which is not accompanied by literature references is based on expert opinions.

Within the PIS, the PI are divided into five generic categories. Given that the focus of the SAFER-LC project is to develop safety measures, the first of these PI categories is *Safety*. Another goal of SAFER-LC is to develop low-cost measures. This means that the identified safety measures have to be affordable for infrastructure providers representing road- and railway sectors. Therefore, *Business*, containing different kinds of costs, is the second evaluation category. In addition, because LC are a part of transportation systems, the task of which is to provide mobility through traffic, *Traffic*, specifically in relation to traffic capacity, is the third evaluation category. The aforementioned categories are influenced by human behaviour and technical frame conditions. That leads to the last two categories *Human behaviour* and *Technical*. For each of the five categories, the associated sub-categories and PI are summarized within the next paragraphs.

The first category *Safety* (fig. 1) focusses on PI which describe the amount of actual accidents (i.e. collisions) around a LC (sub-category *Collisions*) as well as PI which reflect the accident risk at a LC. PI which reflect the accident risk at a LC are subdivided into PI regarding movement of traffic participants (sub-categories *Surrogate*



matische Indikatoren) und bzgl. Zuverlässigkeit von Sicherheitsmaßnahmen (Unterkategorie *Funktionale Sicherheit*) unterteilt.

Die zweite Kategorie *Wirtschaftlichkeit* (Bild 2) fokussiert PI bzgl. wirtschaftlichen Aufwands, der erforderlich ist, um eine Sicherheitsmaßnahme zu realisieren, zu erhalten, zu verbessern und zu recyceln. Es wurden PI für die Unterkategorien *Investitionen* und *Betriebskosten* (inkl. *Instandhaltung*) identifiziert [6, 9].

Die dritte Kategorie *Verkehr* (Bild 3) fokussiert PI bzgl. des Einflusses von Sicherheitsmaßnahmen auf Straßen- (Unterkategorie *Straße – Verkehrsteilnehmende*) und Schienenverkehr (Unterkategorie *Schiene – Züge*). Es werden Auswirkungen auf die Bewegung von Straßenfahrzeugen, Fußgängern und Zügen betrachtet. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der effizienten Bewegung und der daraus resultierenden Verkehrskapazität.

Die vierte Kategorie *Menschliches Verhalten* (Bild 4) fokussiert Verhalten von Straßenverkehrsteilnehmenden. Die Kategorie beinhaltet PI bzgl. Auswirkungen von Sicherheitsmaßnahmen auf die visuelle und auditive Wahrnehmung relevanter Informationen (Unterkategorie *Perzeption* [7, 10, 12, 13]) und PI bzgl. Auswirkungen von Sicherheitsmaßnahmen auf das beobachtbare Verhalten von Straßenverkehrsteilnehmenden (Unterkategorien *Fahrparameter* [7, 8, 10, 13], *Warteschlangenverhalten* [8] und *Bewusste Verstöße* [8, 12, 13]). Neben diesen objektiv messbaren Effekten werden die Straßenverkehrsteilnehmenden nach ihrer subjektiven Bewertung der Wahrnehmbarkeit und Wirkung von Sicherheitsmaßnahmen gefragt [5, 12]. Die Kategorie *Menschliches Verhalten* ist unterteilt in Verhalten von motorisierten Verkehrsteilnehmenden und Fußgängern.

Die entwickelte Liste der PI bzgl. menschlichen Verhaltens ist eine allgemeine Einführung in nützliche Messgrößen für die Angemessenheit der Informationsverarbeitung und des Verhaltens von Straßenverkehrsteilnehmenden. Da das unpassende Verhalten von Straßenverkehrsteilnehmenden die zentrale Ursache für Unfälle an BÜ ist [18], wird das Thema der Bewertung menschlichen Verhaltens am BÜ in einem detaillierten methodologischen Konzept noch umfassender betrachtet werden. Dieses Bewertungsinstrument ist Gegenstand eines anderen SAFER-LC-Arbeitspakets, welches in diesem Beitrag nicht beschrieben wird.

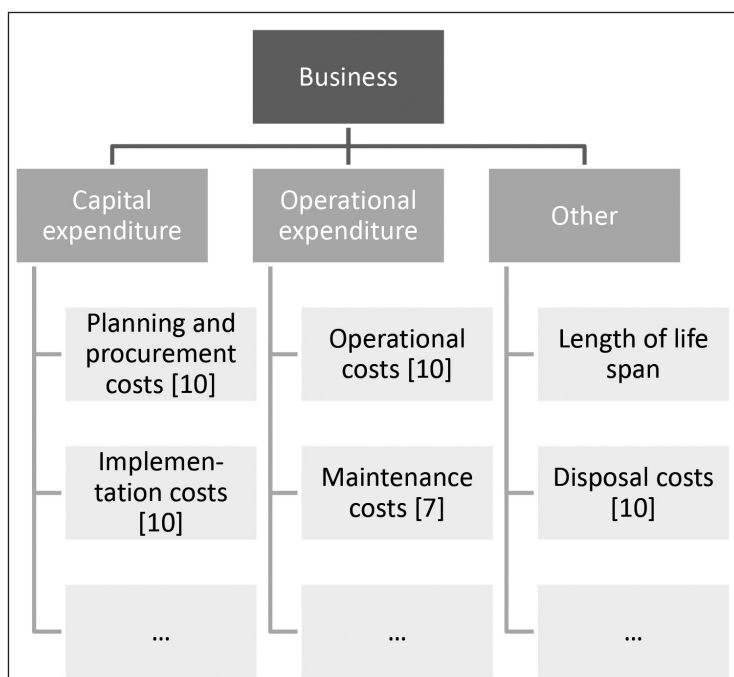


Bild 2: PI-Kategorie Wirtschaftlichkeit

Fig. 2: PI category Business

safety measures [3, 16, 17] and *Kinematic indicators*) and reliability of safety measures (sub-category *Functional safety*).

The second category *Business* (fig. 2) focusses on PI concerning economic effort required to realise, maintain, enhance and recycle a safety measure. PI for the sub-categories *Capital expenditure* and *Operational expenditure* (including *maintenance*) have been identified [6, 9].

The third category *Traffic* (fig. 3) focusses on PI regarding the influence of a safety measure on road (sub-category *Road – Traffic participants*) and railway traffic (sub-category *Railway – Trains*). Effects on movement of road vehicles, pedestrians and trains are considered. Thereby a particular focus is on efficient movement and resulting traffic capacity.

The fourth category *Human behaviour* (fig. 4) focusses on road user behaviour at LC and is divided in behaviour of motorized traffic participants and pedestrians. The category contains PI regarding the effect of safety measures on the visual and auditive perception of relevant information (sub-category *Perception* [7, 10, 12, 13]) and PI regarding the effects of a safety measure on road traffic participants' observable behaviour (sub-categories *Driving parameters* [7, 8, 10, 13], *Queuing behaviour* [8] and *Traffic violations* [8, 12, 13]). Beyond these objectively measurable effects, road users are asked for their subjective evaluation of perceptibility and effect of safety measures [5, 12].

The developed list of PI related to human behaviour is a general introduction to useful measures to assess the appropriateness of road traffic participants' information processing and behaviour. Since maladaptive behaviour of road users is the central reason for accidents at LC [18], the topic of assessing human behaviour in the con-

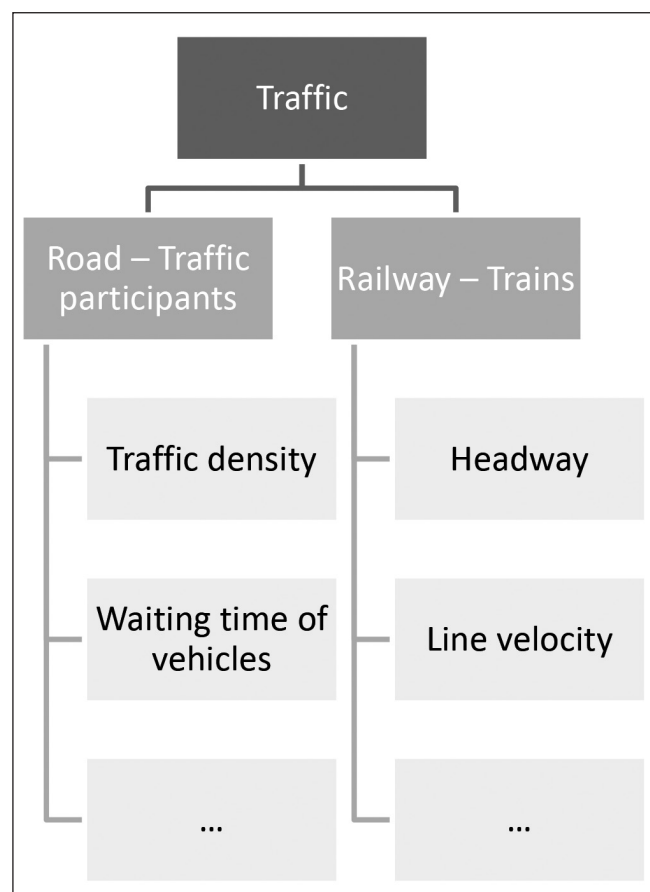
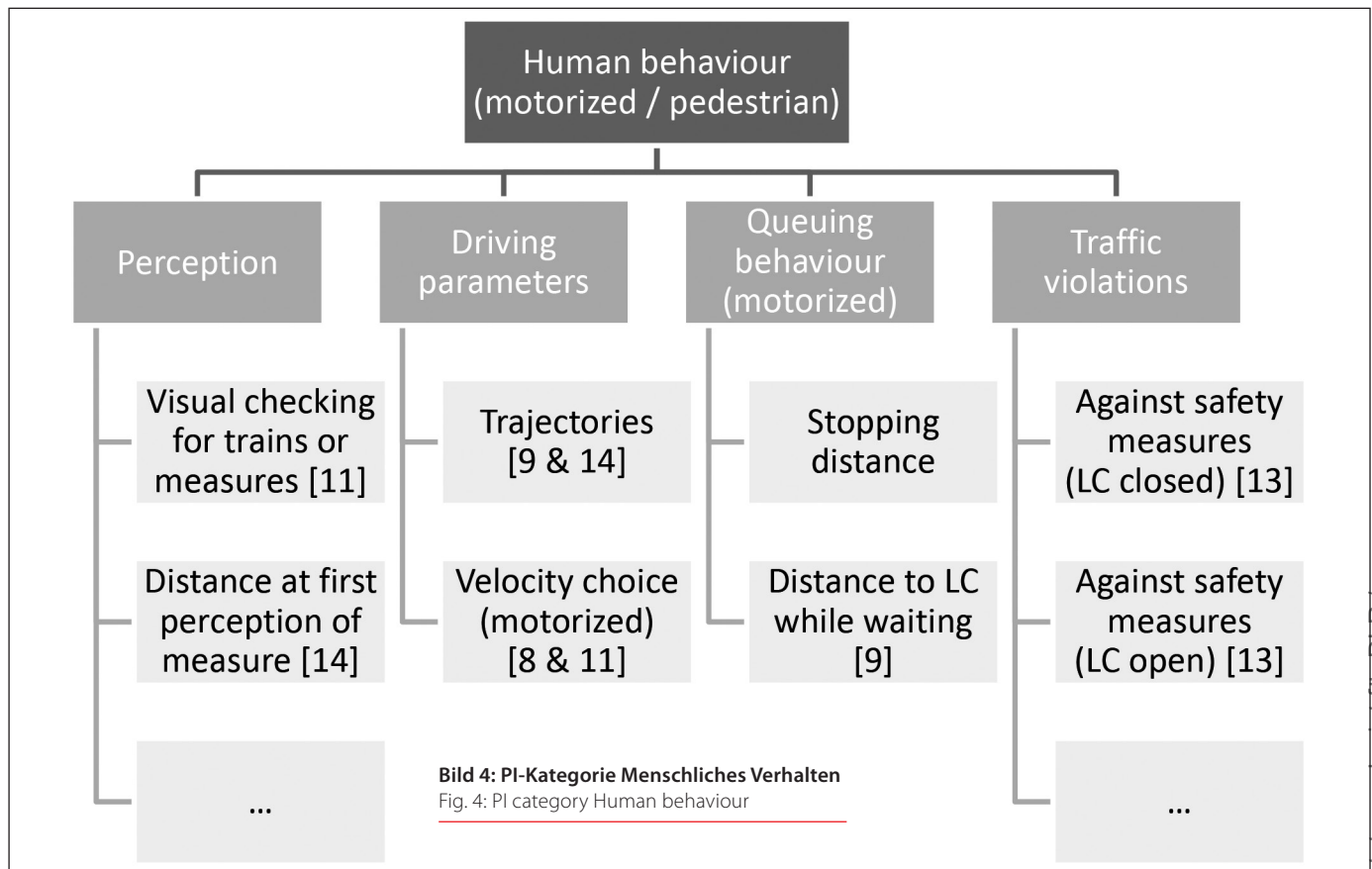


Bild 3: PI-Kategorie Verkehr

Fig. 3: PI category Traffic



Die fünfte und letzte Kategorie *Technik* (Bild 5) fokussiert PI bzgl. Betriebsabläufen sowie Verfügbarkeit und Instandhaltbarkeit von BÜ und Sicherheitsmaßnahme [4, 11, 14, 15]. PI bzgl. Betriebsabläufen fokussieren das technische Verhalten von BÜ und Sicherheitsmaßnahmen. PI bzgl. Verfügbarkeit fokussieren die Fehlerhäufigkeit am BÜ und/oder der implementierten Sicherheitsmaßnahme. PI bzgl. Instandhaltbarkeit fokussieren die Zeit, die benötigt wird, um identifizierte Fehler zu beheben.

Das PIS besteht aus 79 PI. Dies ermöglicht es, den thematischen Fokus jeder Unterkategorie aus verschiedenen Blickwinkeln zu evaluieren oder zu entscheiden, welcher der PI zur Bewertung zum Thema einer Unterkategorie verwendet werden soll. Die Beschreibung jeder PI beinhaltet

- ID,
- Name,
- Einheit,
- Berechnung,
- Verweis auf Literatur, in der die Relevanz des PI diskutiert wird und
- die zur Berechnung des PI benötigten Arten von Daten.

Für manche PI können unabhängig voneinander unterschiedliche Arten von Daten genutzt werden, um den PI zu berechnen. Dieser Ansatz hat zwei Vorteile: Einerseits erhöht Triangulation von Daten, die zur Evaluation gemäß eines PI genutzt werden, die Qualität der Evaluation. Andererseits kann das Anbieten von Alternativen die Chancen verbessern, gemäß eines PI evaluieren zu können. Falls die Daten, die für einen Weg der PI-Berechnung benötigt werden, in Pilotversuchsanlagen des Projektes nicht erhoben werden können, kann die Berechnung des gleichen PI möglicherweise über eine Zusammensetzung anderer erhebbarer Daten erfolgen.

Zusätzlich zu PI wurden kontextuelle Faktoren identifiziert, die dem besseren Verständnis von Variationen der PI dienen. Kontextuelle

text of LC is broadened in a detailed Human Factor methodological framework. This Human Factor assessment tool is the subject of another SAFER-LC work package, which is not described within this article.

The fifth and final category *Technical* (fig. 5) focuses on PI regarding operational processes as well as availability and maintainability of the LC and the safety measure [4, 11, 14, 15]. Operational process-related PI focus on technical behaviour of the LC and the safety measure. PI related to availability focus on the frequency of failure of the LC and/or of the implemented safety measure. PI related to maintainability focus on time needed to repair identified failures.

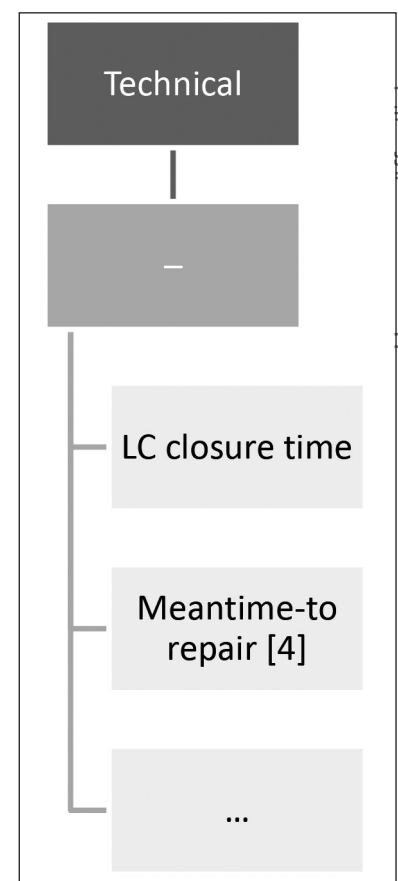


Bild 5: PI-Kategorie Technik
Fig. 5: PI category Technical

Faktoren sind kontextuelle Bedingungen rund um Pilotversuchsanlagen, die nicht durch die Sicherheitsmaßnahmen beeinflusst werden, aber die Leistung der Sicherheitsmaßnahmen beeinflussen. Kontextuelle Faktoren zu betrachten unterstützt, die Leistung von Sicherheitsmaßnahmen zu verstehen. Sie sind eine Ergänzung der PI. Beispiele für kontextuelle Faktoren sind *Sehkraft, Alter, Fahrpraxis* und *Müdigkeit* von Verkehrsteilnehmenden und auch Faktoren wie *Wetter* und *Tageszeit*.

3 Fazit

Im vorliegenden Artikel wurde das im Projekt SAFER-LC entwickelte PIS beschrieben. Es ist ein nützliches Werkzeug für eine Vielzahl von Anwendungsfällen der Evaluation kostengünstiger Sicherheitsmaßnahmen für BÜ, da es für verschiedenste Arten von Sicherheitsmaßnahmen, BÜ, Straßenverkehrsteilnehmende und Pilotversuchsanlagen anwendbar ist. Das PIS deckt eine umfassende Breite relevanter Aspekte ab. Es besteht aus den fünf PI-Kategorien *Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Verkehr, Menschliches Verhalten* und *Technik*. Für jede der Kategorien wurden relevante PI identifiziert und präsentiert.

Alle Partner aus SAFER-LC haben an dem in diesem Beitrag präsentierten PIS gearbeitet und sich auf das PIS geeinigt. Das heißt, dass die Entwicklung des PIS von einem breiten Spektrum an Stakeholdern rund um Sicherheitsmaßnahmen für BÜ unterstützt wurde. Bzgl. der Umsetzbarkeit des PIS wurde evaluiert, ob die für die Berechnung der PI benötigten Daten in den Pilotversuchsanlagen des Projektes erhoben werden können. Abgesehen von den PI in der Kategorie *Wirtschaftlichkeit*, können für alle PI die benötigten Daten in mindestens einer Pilotversuchsanlage erhoben werden. Zudem ist das PIS eine Grundlage für die Anpassung von Pilotversuchsanlagen, was weitere Möglichkeiten für das Erheben von für PI benötigten Daten schaffen kann. Es ist lediglich unwahrscheinlich, dass fundierte Informationen für PI der Kategorie *Wirtschaftlichkeit* durch die verfügbaren Pilotversuchsanlagen erhalten werden können, da die getesteten Sicherheitsmaßnahmen Prototypen und keine marktreifen Systeme sein werden. Daten für Wirtschaftlichkeit müssen wahrscheinlich aus anderen Quellen, wie Hersteller, Betreiber etc., gewonnen werden. Es scheint sicher, dass aufgrund der Anzahl von 79 PI nicht alle PI für die Evaluation jeder Sicherheitsmaßnahmen anwendbar sein werden. Die letztendlich zu testenden Sicherheitsmaßnahmen und die letztendliche Ausstattung der Pilotversuchsanlagen werden entscheidend sein für die individuelle Auswahl einer sinnvollen Teilmenge von PI.

4 Nächste Schritte

Die identifizierten PI dienen als anpassbarer Ausgangspunkt für Tests einer Vielzahl von Sicherheitsmaßnahmen, die in der nächsten Projektphase starten. Basierend auf den identifizierten PI, wird die Effektivität und Effizienz der Sicherheitsmaßnahmen aus unterschiedlichen Perspektiven beurteilt werden: Die Auswirkung einer Sicherheitsmaßnahme auf Wahrnehmung, Kognition und Verhalten von Straßenverkehrsteilnehmenden ist ein zentraler Fokus, da Straßenverkehrsteilnehmende für einen Großteil der Unfälle an BÜ verantwortlich sind [18]. Jedoch wird auch die wirtschaftliche Perspektive in einem der zentralen Arbeitspakete in SAFER-LC berücksichtigt werden, da effiziente Maßnahmen bezahlbar sein müssen. In diesem Sinne ist das PIS ein Vorschlag von PI in allen Evaluationsfeldern. Die PI sind eine erste Auswahl, die für die Evaluation mit einer Kosten-Nutzen-Analyse inkl. einer Analyse von In-

The PIS consists of 79 PI. This enables evaluation of the thematic focus of a sub-category from different perspectives and deciding which of the PI should be used for evaluation according to the sub-category theme. The description of each PI includes

- ID
- Name
- Unit
- Calculation
- Literature references in which the importance of the PI is discussed
- Types of data needed to calculate the PI.

For some PI, different types of data can be used independently of each other to determine their result. This approach has two advantages: Firstly, triangulation of the data used to evaluate according to the PI increases evaluation quality. Secondly, offering alternatives can increase the possibility of evaluation with a specific PI. In case the data collection required for one method of PI calculation is not possible at the projects' pilot test sites, the same PI can be calculated by using a different composition of other data which might be recordable.

In addition to PI, contextual factors that provide a better understanding of variations in PI were identified. Contextual factors are conditions at pilot test sites which are not caused by the safety measures, but influence the performance of the safety measures. Contextual factors support the understanding of the performance of safety measures. They are reflected as an addition to the PI. Examples for contextual factors are *Eye sight, Age, Driving experience* and *Fatigue* of traffic participants and also factors like *Weather* and *Time of day*.

3 Conclusions

This article describes the PIS developed in the SAFER-LC project. It is a useful tool for a multitude of use cases for evaluating low-cost safety measures at LC, since it is applicable for various kinds of safety measures, LC, road users and pilot test sites. The PIS covers a comprehensive range of relevant aspects. It consists of five PI categories *Safety, Business, Traffic, Human behaviour* and *Technical*. For each category, relevant PI are identified and presented.

All partners in SAFER-LC worked and agreed on the PIS presented in this article. That means a wide range of different stakeholders around LC safety measures supported the development of the PIS. Regarding practicability of the PIS, opportunities for collecting the required data for calculating the PI at the project's pilot test sites have been evaluated. Except for PI in the category *Business*, all PI can be fed with data from at least one pilot test site. Beyond that, the PIS is an input for the adaptation of pilot test sites, enabling additional options for feeding PI with data. Merely collecting meaningful information on business-related PI in available pilot test sites is unlikely, since the tested safety measures will be prototypes and not market-ready systems. Data for *Business* will probably have to be derived from other sources, e.g. manufacturers, operators, etc., depending on the characteristics of the measure.

It appears evident that, due to the high number of PI (79), not all of them will be applicable for the evaluation of every safety measure. The safety measures to be tested and the final equipment of pilot test sites will be decisive for the individual selection of a reasonable subset of PI.

4 Next steps

The identified PI serve as an adaptable starting point for testing of a variety of safety measures that will start in the next phase of the pro-

terdependenzen zwischen PI in SAFER-LC genutzt oder angepasst werden kann. Über SAFER-LC hinaus blickend, ist ein Thema für zukünftige Forschung die Generalisierbarkeit des PIS über Sicherheitsmaßnahmen an BÜ hinaus. Dies kann z. B. für Sicherheitsmaßnahmen an anderen Standorten und für andere Anwendungen untersucht werden. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] UIC: International Union of Railways (2018). SAFER-LC. Retrieved Oct. 24th, 2018, from About SAFER-LC: <http://safer-lc.eu/>
- [2] Parmenter, D.: Key performance indicators: Developing, implementing and using winning KPIs. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015
- [3] Astarita, V.; Guido, G.; Vitale, A.; Giofré, V.: A new microsimulation model for the evaluation of traffic safety performances. European Transport, pp. 1-16, 2012
- [4] CENELEC EN 50126: Railway applications: The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)
- [5] Ellinghaus, D.; Steinbrecher, J. (2006): Das Kreuz mit dem Andreaskreuz: Eine Untersuchung über Konflikte an Bahnübergängen. Hannover: Continental AG
- [6] García, M. C.; Sanz-Bobi, M. A.; Del Pico, J.: SIMAP: Intelligent system for predictive maintenance: Application to the health condition monitoring of a wind-turbine gearbox. Computers in Industry, pp. 552-568, 2006
- [7] Gripenkoven, J.; Dietsch, S.: Gaze direction and driving behavior of drivers at level crossings. Journal of Transportation Safety & Security, pp. 4-18, 2015
- [8] Gripenkoven, J.; Gimm, K.; Stamer, M.; Naumann, A.; Schnieder, L.: Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmern an Bahnübergängen mit Blinklichtsicherung, SIGNAL+DRAHT 12/2015, pp. 2-6
- [9] IEC 60300-3-3:2004, Dependability management: Part 3-3: Application guide: Life cycle costing, 2004
- [10] Liu, J.; Bartnik, B.; Richards, S. H.; Khattak, A. J.: Driver behavior at highway-rail grade crossings with passive traffic controls: A driving simulator study. Journal of Transportation Safety & Security, 8 (sup 1), pp. 37-55, 2016
- [11] Mifsud, J.: Usability Geek. Retrieved Oktober 23, 2018, from Usability metrics: A guide to quantify the usability of any system: <https://usabilitygeek.com/usability-metrics-a-guide-to-quantify-system-usability/>, 2015, June 22
- [12] Mulvihill, C. M.; Salmon, P. M.; Beanland, V.; Lenné, M. G.; Read, G. J., Walker, G. H. et al.: Using the decision ladder to understand road user decision making at actively controlled rail level crossings. Applied Ergonomics, 56, pp. 1-10, 2016
- [13] Read, G. J.; Salmon, P. M.; Lenné, M. G.; Stanton, N. A.: Walking the line: Understanding pedestrian behaviour and risk at rail level crossings with cognitive work analysis. Applied Ergonomics, 53, pp. 209-227, 2006
- [14] Roads and Traffic Authority, Traffic signal design: Appendix G: Level crossing interface: Traffic signal design guidance. Sydney: Roads and Traffic Authority, 2008
- [15] Sokolova, M.; Lalapme, G.: A systematic analysis of performance measures for classification tasks. Information Processing and Management, pp. 427-437, 2009
- [16] U.S. Department of Transportation, Surrogate safety measures from traffic simulation models: Final report. McLean, VA: U.S. Department of Transportation, 2003
- [17] Zhang, Y.; Antonsson, E. K.; Grote, K.: A new threat assessment measure for collision avoidance systems. Pasadena, CA: California Institute of Technology, 2006
- [18] Deutsche Bahn AG, Bahnübergänge im Netz der Deutschen Bahn: Sensible Schnittstelle zwischen Schiene und Straße. Berlin: Deutsche Bahn AG, 2015

ject. Based on the identified PI, the effectiveness and efficiency of the safety measures will be judged from different perspectives: The impact of a safety measure on the perception, cognition and behaviour of road users is one central focus, since road users are responsible for the majority of the accidents at LC [18] and this is being addressed in-depth in a dedicated SAFER-LC work package. Furthermore, the economical perspective will also be taken into account in one of the central work packages in SAFER-LC, since efficient measures have to be affordable. In this respect, the PIS is a suggestion of PI in all fields of evaluation. The PI are an initial selection that can be used or adapted in SAFER-LC for evaluation with a cost-benefit analysis and the analysis of interdependences between PI. Beyond the scope of SAFER-LC, a field of future research is the generalizability of the PIS beyond safety measures at LC. This can be investigated for instance for safety measures at other locations and applications. ■

ANERKENNUNG / ACKNOWLEDGEMENT

Involvierte Partner im Projekt SAFER-LC / Partners involved in SAFER-LC

UIC – International Union of Railways, VTT – Technical Research Centre of Finland Ltd., NTNU – Norwegian University of Science and Technology, IFSTTAR – French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks, FFE – Spanisch Railways Foundation, CERTH – HIT – Centre for Research and Technology Hellas – Hellenic Institute of Transport, TRAINOSE – Trainose Transport, INTADER – Intermodal Transportation and Logistics Research Association, CEREMA – Centre for Studies and Expertise on Risks, Environment, Mobility, and Urban and Country planning, GLS – Geoloc Systems, RWTH – Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen Universität, Uniroma3 – University of Roma Tre, COMM – Commsignia Ltd., IRU – International Road Transport Union, SNCF – French Railways, UTBM – University of Technology of Belfort-Montbéliard, DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Verkehrssystemtechnik



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 723205



AUTOREN | AUTHORS

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Alexander Brandies
Doktorand / PhD candidate
E-Mail: alexander.brandies@dlr.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Florian Brinkmann
Gruppenleiter Qualität und Wirtschaftlichkeit /
Team Leader Quality and Economics
E-Mail: florian.brinkmann@dlr.de

Jan Gripenkoven, M. Sc.
Gruppenleiter Tätigkeitsanalyse und Bewertung /
Team Leader Task Analysis and Evaluation
E-Mail: jan.gripenkoven@dlr.de

Alle Autoren / all authors
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Verkehrssystemtechnik
Anschrift / Address: Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig